

PENGARUH KONSENTRASI DAN FREKUENSI APLIKASI PUPUK BIONANOFERTILIZER PADA PERTUMBUHAN DAN HASIL TANAMAN KEDELAI (*Glycine max* L.) VARIETAS DETAP-1

Lenny Dwi Sekar Arum^{1*}, Palupi Puspitorini², Army Dita Serdani³, Tri Endrawati⁴,
Agung Setya Wibowo⁵

¹²³⁴⁵Program Studi Agroteknologi, Universitas Islam Balitar, Kota Blitar, Indonesia

*Corresponding author : dwilenny103@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh konsentrasi, frekuensi aplikasi, dan interaksi keduanya terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman kedelai (*Glycine max* L.) varietas Detap-1. Permasalahan penelitian difokuskan pada upaya meningkatkan produktivitas kedelai melalui penerapan pupuk bionanofertilizer dengan konsentrasi dan frekuensi aplikasi yang tepat. Penelitian dilaksanakan di Desa Rejowinangun, Kecamatan Kademangan, Kabupaten Blitar pada Juni–November 2025 menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) faktorial dengan dua faktor, yaitu konsentrasi pupuk bionanofertilizer (6, 9, dan 12 ml l⁻¹) serta frekuensi aplikasi (1, 2, dan 3 minggu sekali). Setiap kombinasi perlakuan diulang tiga kali. Data dianalisis menggunakan analisis ragam (ANOVA) dan dilanjutkan dengan uji Duncan pada taraf 5%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa interaksi konsentrasi dan frekuensi aplikasi memengaruhi pertumbuhan vegetatif dan komponen hasil tanaman kedelai. Kombinasi konsentrasi 6 mL L⁻¹ dengan frekuensi aplikasi satu minggu sekali memberikan respons terbaik terhadap tinggi tanaman, diameter batang, jumlah polong, berat polong, jumlah biji, bobot biji, dan bobot 100 biji. Penelitian ini menyimpulkan bahwa kombinasi tersebut berpotensi menjadi strategi pemupukan yang efektif untuk meningkatkan pertumbuhan dan produktivitas tanaman kedelai.

Kata Kunci: bionanofertilizer; frekuensi; konsentrasi_bionanofertilizer; kedelai

PENDAHULUAN

Kedelai (*Glycine max* L.) merupakan salah satu komoditas pangan strategis di Indonesia karena menjadi sumber protein nabati utama yang banyak dimanfaatkan sebagai bahan baku berbagai produk pangan, seperti tempe, tahu, susu kedelai, kecap, serta berbagai produk olahan lainnya. Kandungan protein kedelai yang mencapai sekitar 37–42%, disertai kandungan lemak tidak jenuh, karbohidrat, vitamin, dan mineral menjadikan komoditas ini memiliki nilai gizi tinggi serta berperan penting dalam mendukung ketahanan pangan nasional. Selain dimanfaatkan sebagai bahan

pangan, kedelai juga digunakan sebagai bahan baku industri pakan ternak dan berbagai industri pangan lainnya sehingga permintaannya terus meningkat setiap tahun (Pratiwi, Dewi, and Hayati 2024; Wahyudi et al. 2022).

Meskipun kebutuhan kedelai terus mengalami peningkatan, kemampuan produksi nasional masih relatif rendah dibandingkan tingkat konsumsinya. Data Badan Pusat Statistik menunjukkan bahwa produksi kedelai nasional belum mampu memenuhi kebutuhan domestik sehingga Indonesia masih bergantung pada impor untuk memenuhi kebutuhan industri maupun konsumsi masyarakat. Kondisi tersebut

menunjukkan bahwa peningkatan produktivitas kedelai masih menjadi tantangan utama dalam pembangunan sektor pertanian. Rendahnya produktivitas dipengaruhi oleh berbagai faktor, di antaranya penggunaan varietas, kondisi lingkungan, kesuburan tanah, serta penerapan teknologi budidaya yang belum optimal. Oleh karena itu, diperlukan inovasi teknologi budidaya yang mampu meningkatkan efisiensi pemanfaatan unsur hara sekaligus mendukung peningkatan hasil tanaman secara berkelanjutan (Nazirah and Puspita 2026; Sjamsijah and Pristiawati 2024).

Salah satu permasalahan yang banyak dihadapi dalam budidaya kedelai adalah menurunnya kualitas dan kesuburan tanah akibat penggunaan pupuk anorganik secara terus-menerus dalam jangka panjang. Pemupukan kimia yang dilakukan tanpa mempertimbangkan kebutuhan tanaman dapat menyebabkan ketidakseimbangan unsur hara, penurunan aktivitas mikroorganisme tanah, menurunnya kandungan bahan organik, serta berkurangnya efisiensi penyerapan unsur hara oleh akar tanaman. Dampak tersebut tidak hanya menurunkan produktivitas lahan, tetapi juga meningkatkan risiko pencemaran lingkungan akibat hilangnya unsur hara melalui pencucian maupun penguapan. Kondisi ini mendorong perlunya penerapan sistem pemupukan yang lebih efisien, ramah lingkungan, dan mampu memperbaiki kualitas tanah secara berkelanjutan (Febrianny et al. 2025; Zafar et al. 2024)

Inovasi yang berkembang dalam teknologi pemupukan salah satunya

adalah penggunaan bionanofertilizer, yaitu pupuk hayati berbasis teknologi nano yang mengombinasikan mikroorganisme bermanfaat dengan material berukuran nano sebagai media penghantar unsur hara. Teknologi nano memungkinkan unsur hara dilepaskan secara bertahap (*slow release*) sehingga kehilangan nutrisi akibat pencucian maupun penguapan dapat diminimalkan. Selain meningkatkan efisiensi penyerapan unsur hara, bionanofertilizer juga mampu memperbaiki sifat fisik, kimia, dan biologi tanah melalui aktivitas mikroorganisme yang berperan dalam fiksasi nitrogen, pelarutan fosfat, penguraian bahan organik, serta produksi hormon pertumbuhan tanaman. Dengan mekanisme tersebut, penggunaan bionanofertilizer berpotensi meningkatkan efisiensi pemupukan sekaligus mengurangi ketergantungan terhadap pupuk anorganik sehingga lebih mendukung sistem pertanian berkelanjutan (Nawadkar et al. 2024; Dutta and Bera 2021)

Keberhasilan aplikasi bionano - fertilizer tidak hanya ditentukan oleh kandungan pupuk, tetapi juga dipengaruhi oleh ketepatan konsentrasi dan frekuensi aplikasinya. Konsentrasi yang terlalu rendah berpotensi menyebabkan unsur hara yang tersedia tidak mampu memenuhi kebutuhan tanaman, sedangkan konsentrasi yang terlalu tinggi dapat menurunkan efisiensi pemanfaatan pupuk dan meningkatkan biaya produksi. Demikian pula, frekuensi aplikasi yang tidak sesuai dapat menyebabkan ketidakseimbangan ketersediaan unsur hara selama fase pertumbuhan tanaman. Oleh karena itu, pengaturan konsentrasi dan frekuensi

aplikasi menjadi faktor penting dalam menentukan keberhasilan penggunaan bionanofertilizer pada budidaya kedelai. Pengaturan kedua faktor tersebut diharapkan mampu menyediakan unsur hara secara berkesinambungan sesuai kebutuhan tanaman pada fase vegetatif maupun generatif sehingga pertumbuhan dan hasil tanaman dapat dicapai secara optimal.

Perkembangan penelitian mengenai pupuk berbasis nano menunjukkan hasil yang cukup menjanjikan pada berbagai komoditas pertanian. Tiara Cinta et al., (2023) melaporkan bahwa aplikasi pupuk nano yang dikombinasikan dengan media tanam tertentu mampu meningkatkan tinggi tanaman, diameter batang, serta komponen hasil melalui peningkatan efisiensi penyerapan unsur hara. Hasil serupa juga dilaporkan oleh Wibowo et al., (2025) yang menunjukkan bahwa konsentrasi pupuk nano dan frekuensi aplikasinya memberikan pengaruh nyata terhadap pertumbuhan vegetatif maupun produktivitas tanaman okra. Penelitian tersebut mengindikasikan bahwa keberhasilan teknologi nano tidak hanya bergantung pada jenis pupuk yang digunakan, tetapi juga dipengaruhi oleh strategi aplikasinya, terutama dalam menentukan konsentrasi dan interval pemberian pupuk yang sesuai dengan kebutuhan fisiologis tanaman.

Pada tanaman kedelai, beberapa penelitian juga menunjukkan kecenderungan hasil yang serupa. Yusuf et al., (2024) melaporkan bahwa pemberian pupuk organik cair dengan konsentrasi 6 ml L⁻¹ mampu meningkatkan pertumbuhan vegetatif serta komponen hasil kedelai

dibandingkan konsentrasi lainnya. Penelitian Sulastri dan Nazara (2024) memperlihatkan bahwa konsentrasi tersebut berpengaruh terhadap peningkatan biomassa tanaman, sedangkan Yusuf et al., (2024) melaporkan adanya peningkatan jumlah polong dan bobot biji setelah aplikasi pupuk organik cair pada konsentrasi yang sama. Selain itu Firmansyah & Islami, (2023) menunjukkan bahwa kombinasi konsentrasi pupuk organik cair dan frekuensi aplikasi memberikan peningkatan hasil biji kedelai dibandingkan perlakuan tanpa pupuk, sedangkan Kiik et al., (2023) menemukan bahwa pengaturan frekuensi aplikasi pupuk hayati juga berkontribusi terhadap peningkatan pertumbuhan vegetatif maupun hasil tanaman kedelai. Berbagai hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa efektivitas pupuk hayati maupun pupuk berbasis nano sangat dipengaruhi oleh kombinasi strategi aplikasi yang diterapkan sehingga diperlukan pengelolaan pemupukan yang lebih tepat untuk memperoleh produktivitas tanaman secara optimal.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juni sampai November 2025 di Desa Rejowinangun, Kecamatan Kademangan, Kabupaten Blitar, Jawa Timur, pada ketinggian ±167 mdpl dengan koordinat 8°13' LS dan 112°22' BT. Wilayah penelitian memiliki iklim tropis dengan suhu rata-rata berkisar antara 28–33°C sehingga sesuai untuk budidaya tanaman kedelai. Bahan yang digunakan dalam penelitian meliputi benih kedelai varietas Detap-1, pupuk bionanofertilizer, media tanam berupa

campuran blotong dan arang sekam dengan perbandingan 2:1, EM4, air, serta pestisida dan fungisida apabila diperlukan.

Peralatan yang digunakan meliputi polybag ukuran 40 × 40 cm, cangkul, gelas ukur, gembor, timbangan digital, pH meter, meteran, jangka sorong, kamera digital, dan alat tulis.

Penelitian menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) faktorial yang terdiri atas dua faktor. Faktor pertama adalah konsentrasi pupuk bionanofertilizer yang terdiri atas tiga taraf, yaitu 6 mL L⁻¹ (B1), 9 mL L⁻¹ (B2), dan 12 mL L⁻¹ (B3). Faktor kedua adalah frekuensi aplikasi pupuk yang terdiri atas tiga taraf, yaitu satu minggu sekali (S1), dua minggu sekali (S2), dan

tiga minggu sekali (S3). Kedua faktor tersebut menghasilkan sembilan kombinasi perlakuan yang masing-masing diulang sebanyak tiga kali sehingga diperoleh 27 unit percobaan. Setiap unit percobaan terdiri atas dua tanaman sampel.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pertumbuhan Tinggi Tanaman Kedelai

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa interaksi antara konsentrasi dan frekuensi aplikasi pupuk bionanofertilizer memberikan pengaruh nyata terhadap tinggi tanaman kedelai pada seluruh waktu pengamatan. Rata-rata tinggi tanaman pada masing-masing kombinasi perlakuan disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Rata-rata Tinggi Tanaman Kedelai pada Konsentrasi dan Frekuensi Bionanofertilizer

Kombinasi Perlakuan	1 MST	2 MST	3 MST	4 MST	5 MST
B1S1	12,83 b	24,50 a	33,02 c	38,50 c	55,17 c
B1S2	9,50 a	15,67 a	23,25 ab	28,17 ab	47,67 a
B1S3	9,67 a	16,92 a	24,45 ab	30,00 ab	49,50 ab
B2S1	9,83 a	16,07 a	26,80 b	32,38 b	48,83 ab
B2S2	10,67 a	17,20 a	24,75 ab	32,25 b	53,50 bc
B2S3	10,00 a	15,93 a	24,90 ab	29,00 ab	49,50 ab
B3S1	10,00 a	17,02 a	26,45 b	30,83 ab	48,83 ab
B3S2	9,90 a	17,42 a	24,58 ab	29,92 ab	49,33 ab
B3S3	8,67 a	14,93 a	19,68 a	27,33 a	45,33 a

Keterangan : Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji DMRT pada taraf 5%

Berdasarkan hasil pengamatan, kombinasi perlakuan B1S1 (konsentrasi

bionanofertilizer 6 mL L⁻¹ dengan frekuensi aplikasi satu minggu sekali)

menunjukkan pertumbuhan tinggi tanaman kedelai yang paling baik dibandingkan kombinasi perlakuan lainnya. Perbedaan pertumbuhan mulai terlihat sejak minggu ketiga setelah tanam dan semakin jelas hingga akhir periode pengamatan. Sebaliknya, perlakuan B3S3 (12 mL L⁻¹ dengan frekuensi aplikasi tiga minggu sekali) menghasilkan tinggi tanaman terendah. Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa peningkatan konsentrasi pupuk tidak selalu diikuti oleh peningkatan pertumbuhan apabila frekuensi pemberiannya kurang sesuai. Pada fase awal pertumbuhan, tanaman masih mengandalkan cadangan makanan dalam kotiledon sehingga pengaruh perlakuan belum terlihat nyata. Setelah sistem perakaran berkembang, kemampuan tanaman menyerap unsur hara meningkat sehingga respons terhadap aplikasi pupuk mulai tampak.

Keberhasilan perlakuan B1S1 diduga karena konsentrasi 6 mL L⁻¹ telah mampu memenuhi kebutuhan hara tanaman tanpa menyebabkan ketidakseimbangan nutrisi. Sebaliknya, pemberian pupuk dengan konsentrasi yang lebih tinggi belum tentu meningkatkan pertumbuhan karena tanaman hanya menyerap unsur hara sesuai kebutuhan fisiologisnya. Selain itu, frekuensi aplikasi setiap satu minggu sekali menjaga ketersediaan unsur hara tetap stabil selama fase vegetatif, sehingga proses pembelahan sel, pemanjangan sel, pembentukan klorofil, dan fotosintesis dapat berlangsung secara optimal. Temuan ini sejalan dengan Sarida et al. (2021) yang menyatakan bahwa pemberian pupuk pada dosis yang tepat mampu

meningkatkan efisiensi serapan unsur hara, serta didukung oleh (Kiik, 2021) yang melaporkan bahwa aplikasi pupuk secara teratur dapat memperbaiki pertumbuhan vegetatif tanaman.

Respons pertumbuhan yang lebih tinggi pada perlakuan B1S1 juga diduga berkaitan dengan karakteristik bionanofertilizer yang memadukan teknologi nano dan mikroorganisme menguntungkan. Ukuran partikel yang sangat kecil memperluas luas permukaan pupuk sehingga unsur hara lebih mudah tersedia dan diserap oleh akar. Di sisi lain, mikroorganisme di dalam pupuk berperan dalam meningkatkan ketersediaan nitrogen dan fosfor melalui proses fiksasi nitrogen, pelarutan fosfat, serta dekomposisi bahan organik. Sinergi kedua mekanisme tersebut menciptakan kondisi perakaran yang lebih baik dan meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Berliana et al. (2025) yang menjelaskan bahwa pupuk hayati mampu meningkatkan aktivitas biologis tanah, sedangkan Prakoso et al. (2024) menyatakan bahwa teknologi nano dapat meningkatkan efisiensi pemupukan melalui mekanisme pelepasan unsur hara secara bertahap (*slow release*).

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa efektivitas bionanofertilizer tidak hanya dipengaruhi oleh besarnya konsentrasi pupuk, tetapi juga oleh ketepatan frekuensi aplikasinya. Kombinasi konsentrasi 6 mL L⁻¹ dengan aplikasi setiap satu minggu sekali terbukti mampu menyediakan unsur hara secara berkelanjutan sehingga mendukung aktivitas fisiologis tanaman, meningkatkan fotosintesis, serta

menghasilkan fotosintat yang cukup untuk pembentukan jaringan baru. Hasil penelitian ini memperkuat pendapat Nurfadilah et al. (2024) bahwa ketersediaan unsur hara yang memadai selama pertumbuhan vegetatif merupakan faktor penting dalam meningkatkan pembentukan biomassa dan pertumbuhan tanaman secara optimal.

Diameter batang

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa interaksi antara konsentrasi dan frekuensi aplikasi pupuk bionanofertilizer memberikan pengaruh nyata terhadap diameter batang tanaman kedelai pada seluruh waktu pengamatan. Rata-rata diameter batang pada setiap kombinasi perlakuan disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Rata-rata Diameter Batang Tanaman Kedelai pada Konsentrasi dan Frekuensi Bionanofertilizer

Kombinasi Perlakuan	1 MST	2 MST	3 MST	4 MST	5 MST
B1S1	24,17 b	28,96 c	48,58 c	59,33 d	74,00 b
B1S2	16,08 a	23,17 ab	31,50 ab	39,33 ab	56,67 a
B1S3	17,33 a	24,33 ab	40,00 b	48,83 c	60,17 a
B2S1	16,67 a	25,67 ab	39,17 b	46,17 abc	60,33 a
B2S2	16,33 a	24,00 ab	36,50 ab	48,17 bc	63,33 a
B2S3	16,17 a	23,33 ab	35,83 ab	45,58 abc	60,92 a
B3S1	17,67 a	24,50 ab	36,00 ab	45,50 abc	60,83 a
B3S2	16,33 a	24,17 ab	37,17 b	45,67 abc	59,67 a
B3S3	15,17 a	20,67 a	28,33 a	38,83 a	56,17 a

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji DM RT pada taraf 5%.

Berdasarkan hasil pengamatan pada Tabel 2, kombinasi perlakuan B1S1 (konsentrasi bionanofertilizer 6 mL L⁻¹ dengan frekuensi aplikasi satu minggu sekali) menghasilkan diameter batang tertinggi selama periode pengamatan, sedangkan perlakuan B3S3 (12 mL L⁻¹ dengan frekuensi aplikasi tiga minggu sekali) menunjukkan diameter batang terendah. Perbedaan antarperlakuan

mulai terlihat sejak minggu pertama setelah tanam dan semakin jelas hingga minggu kelima. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kombinasi konsentrasi dan frekuensi aplikasi yang tepat mampu meningkatkan pertumbuhan batang secara lebih optimal. Diameter batang merupakan salah satu indikator pertumbuhan vegetatif karena mencerminkan

perkembangan jaringan vaskular yang berfungsi menyalurkan air, unsur hara, dan hasil fotosintesis ke seluruh bagian tanaman.

Diameter batang yang lebih besar pada perlakuan B1S1 menunjukkan bahwa konsentrasi 6 mL L⁻¹ telah mampu memenuhi kebutuhan unsur hara tanaman secara optimal. Ketersediaan nutrisi yang seimbang mendukung proses pembelahan dan pembesaran sel sehingga pembentukan jaringan batang berlangsung lebih baik. Sebaliknya, peningkatan konsentrasi hingga 9 mL L⁻¹ dan 12 mL L⁻¹ tidak memberikan peningkatan diameter batang yang berarti, yang mengindikasikan bahwa efektivitas pemupukan lebih dipengaruhi oleh ketepatan dosis dibandingkan banyaknya pupuk yang diberikan. Hasil ini sejalan dengan (Wahyudi, 2022) yang menyatakan bahwa dosis pupuk yang sesuai lebih efektif

Jumlah Polong

Perbedaan konsentrasi dan frekuensi aplikasi bionanofertilizer menghasilkan respons yang berbeda terhadap pembentukan polong tanaman kedelai. Nilai rata-rata jumlah polong pada setiap kombinasi perlakuan disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Rata-rata Jumlah Polong per Tanaman Kedelai pada Konsentrasi dan Frekuensi dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman daripada pemberian pupuk secara berlebihan.

Kombinasi Perlakuan	Jumlah Polong
B1S1	352,83 e
B1S2	180,5 ab
B1S3	246 bcd
B2S1	245,5 bcd
B2S2	269,33 cd
B2S3	303,33 de
B3S1	235,5 abcd
B3S2	221,17 abc
B3S3	171 a

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji DMRT pada taraf 5%.

Selain konsentrasi, frekuensi aplikasi pupuk juga berpengaruh terhadap perkembangan diameter batang. Aplikasi setiap satu minggu sekali mampu menjaga ketersediaan unsur hara tetap stabil selama fase vegetatif sehingga tanaman memperoleh pasokan nutrisi secara berkelanjutan. Kondisi tersebut mendukung pembentukan jaringan vaskular, meningkatkan pembentukan klorofil, memperlancar fotosintesis, dan menghasilkan fotosintat yang digunakan untuk pembentukan batang. Sebaliknya, interval aplikasi yang lebih panjang menyebabkan ketersediaan unsur hara menjadi kurang stabil sehingga pertumbuhan batang berlangsung kurang optimal. Temuan ini sejalan dengan (Kiik, 2021) yang melaporkan bahwa frekuensi pemupukan yang lebih teratur mampu meningkatkan efisiensi penyerapan unsur hara dan mendukung pertumbuhan vegetatif tanaman.

Keberhasilan perlakuan B1S1 juga diduga berkaitan dengan karakteristik bionanofertilizer yang

mengombinasikan teknologi nano dan mikroorganisme menguntungkan. Teknologi nano memungkinkan pelepasan unsur hara berlangsung secara bertahap (controlled release), sedangkan mikroorganisme meningkatkan ketersediaan nitrogen dan fosfor melalui proses fiksasi nitrogen, pelarutan fosfat, serta dekomposisi bahan organik. Sinergi kedua mekanisme tersebut meningkatkan efisiensi penyerapan unsur hara sehingga pembentukan batang menjadi lebih besar dan kokoh. Selain itu, nitrogen berperan dalam pembentukan klorofil, fosfor mendukung transfer energi, dan kalium membantu translokasi hasil fotosintesis menuju jaringan yang sedang tumbuh. Hasil ini sejalan dengan penelitian Jumiono et al. (2025) yang menjelaskan bahwa pupuk hayati mampu meningkatkan aktivitas biologis tanah dan ketersediaan unsur hara, serta Madzokere et al. (2021) yang menyatakan bahwa teknologi nano meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk melalui pelepasan unsur hara secara lebih terkendali.

Berdasarkan hasil pada Tabel 3, kombinasi perlakuan B1S1 (konsentrasi bionanofertilizer 6 mL L⁻¹ dengan frekuensi aplikasi satu minggu sekali) menghasilkan jumlah polong tertinggi dibandingkan kombinasi perlakuan lainnya, sedangkan perlakuan B3S3 (12 mL L⁻¹ dengan frekuensi aplikasi tiga minggu sekali) menunjukkan jumlah polong terendah. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kombinasi konsentrasi dan frekuensi aplikasi yang tepat mampu meningkatkan pembentukan polong tanaman kedelai secara lebih optimal. Jumlah polong merupakan salah satu komponen hasil

yang sangat menentukan produktivitas tanaman karena dipengaruhi oleh keberhasilan pembungaan, pembentukan bakal buah (pod set), serta kemampuan tanaman mempertahankan bunga dan polong hingga fase pengisian biji. Proses tersebut sangat bergantung pada kecukupan unsur hara, terutama nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K), yang berperan dalam pembentukan jaringan reproduktif, transfer energi, dan translokasi hasil fotosintesis.

Tingginya jumlah polong pada perlakuan B1S1 menunjukkan bahwa konsentrasi 6 mL L⁻¹ mampu menyediakan unsur hara sesuai dengan kebutuhan tanaman selama fase reproduktif. Ketersediaan nutrisi yang seimbang mendukung pembentukan bunga dan meningkatkan keberhasilan perkembangan bunga menjadi polong. Sebaliknya, peningkatan konsentrasi pupuk hingga 12 mL L⁻¹ tidak memberikan peningkatan jumlah polong secara konsisten, yang mengindikasikan bahwa efektivitas pemupukan lebih ditentukan oleh ketepatan dosis dibandingkan jumlah pupuk yang diberikan. Selain itu, frekuensi aplikasi setiap satu minggu sekali mampu menjaga ketersediaan unsur hara tetap stabil sehingga tanaman tidak mengalami kekurangan nutrisi pada fase pembungaan dan pembentukan polong. Temuan ini sejalan dengan (Yusuf, 2024) yang menyatakan bahwa interval pemupukan yang sesuai dapat meningkatkan efisiensi metabolisme tanaman dan mendukung pembentukan bunga serta polong pada tanaman legum.

Peningkatan jumlah polong pada penelitian ini juga diduga dipengaruhi oleh karakteristik bionanofertilizer yang

mengombinasikan teknologi nano dengan pupuk hayati. Ukuran partikel yang sangat kecil memungkinkan unsur hara tersedia secara bertahap dan lebih mudah diserap oleh akar, sehingga efisiensi penyerapan nutrisi dan aktivitas fotosintesis meningkat. Fotosintat yang dihasilkan kemudian ditranslokasikan menuju organ reproduktif untuk mendukung pembentukan dan perkembangan polong. Selain itu, mikroorganisme yang terkandung dalam bionanofertilizer berperan dalam fiksasi nitrogen, pelarutan fosfat, dan meningkatkan aktivitas biologis tanah sehingga unsur hara lebih mudah tersedia bagi tanaman. Kondisi tersebut mendukung pertumbuhan vegetatif sekaligus meningkatkan keberhasilan pembentukan organ reproduktif. Hasil ini sejalan dengan (Sari, 2022) yang melaporkan bahwa pupuk berbasis nano mampu meningkatkan efisiensi serapan unsur hara, aktivitas fotosintesis, dan produktivitas tanaman.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi konsentrasi 6 mL L⁻¹ dengan frekuensi aplikasi satu minggu sekali merupakan perlakuan yang paling efektif dalam meningkatkan jumlah polong per tanaman kedelai. Kombinasi tersebut mampu menyediakan unsur hara secara berkelanjutan sesuai kebutuhan fisiologis tanaman selama fase reproduktif sehingga pembentukan polong berlangsung lebih optimal. Sebaliknya, frekuensi aplikasi yang terlalu jarang dan konsentrasi pupuk yang lebih tinggi belum mampu meningkatkan efisiensi pemanfaatan unsur hara. Temuan ini menegaskan bahwa keberhasilan aplikasi bionanofertilizer tidak hanya ditentukan

oleh besarnya dosis pupuk, tetapi juga oleh ketepatan frekuensi pemberiannya sehingga produktivitas tanaman kedelai dapat ditingkatkan secara maksimal.

Akumulasi Bobot Polong Tanaman Kedelai

Jumlah polong merupakan salah satu komponen hasil yang menentukan tingkat produktivitas tanaman kedelai. Rata-rata jumlah polong pada setiap kombinasi konsentrasi dan frekuensi aplikasi bionanofertilizer disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Rata-rata Berat polong Kedelai Pada Perlakuan Konsentrasi dan Frekuensi Pemberian Pupuk Bionanofertilizer.

Kombinasi Perlakuan	Berat Polong (gram)
B1S1	361,08 d
B1S2	282,94 bc
B1S3	269,04 bc
B2S1	254,56 ab
B2S2	318,63 cd
B2S3	304,00 bc
B3S1	273,50 bc
B3S2	307,63 bc
B3S3	206,25 a

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji DMRT pada taraf 5%.

Kombinasi perlakuan B1S1 menghasilkan berat polong tertinggi, sedangkan kombinasi B3S3 memberikan berat polong terendah (Tabel 4). Hasil tersebut menunjukkan bahwa pemberian bionanofertilizer dengan konsentrasi 6 mL L⁻¹ dan frekuensi aplikasi satu minggu sekali mampu meningkatkan akumulasi biomassa pada organ reproduktif secara lebih optimal dibandingkan kombinasi perlakuan lainnya. Sebaliknya, peningkatan

konsentrasi pupuk yang disertai interval aplikasi lebih panjang tidak menghasilkan peningkatan berat polong yang sebanding.

Berat polong dipengaruhi oleh kemampuan tanaman dalam menghasilkan dan mentranslokasikan fotosintat menuju organ reproduktif selama fase pengisian polong. Semakin tinggi efisiensi fotosintesis, semakin besar pula jumlah karbohidrat dan senyawa hasil metabolisme yang dialokasikan ke polong. Oleh karena itu, tanaman yang memperoleh suplai unsur hara secara cukup dan berkelanjutan cenderung menghasilkan polong dengan bobot yang lebih tinggi dibandingkan tanaman yang mengalami keterbatasan nutrisi selama fase generatif.

Keunggulan kombinasi B1S1 diduga berkaitan dengan kemampuan bionanofertilizer dalam menyediakan unsur hara secara bertahap (slow release) sehingga kebutuhan nutrisi tanaman tetap terpenuhi selama proses pembentukan dan pengisian polong. Teknologi nano meningkatkan luas permukaan partikel pupuk sehingga unsur hara lebih mudah tersedia dan diserap oleh akar tanaman. Kondisi tersebut mendukung peningkatan pembentukan klorofil, aktivitas fotosintesis, serta efisiensi metabolisme tanaman sehingga akumulasi bahan kering pada polong menjadi lebih tinggi. Mandal & Lalrinchani, (2021) melaporkan bahwa penggunaan pupuk berbasis nano mampu meningkatkan efisiensi fotosintesis dan aktivitas enzim tanaman yang berperan dalam proses pengisian polong.

Selain teknologi nano, keberadaan mikroorganisme dalam

bionanofertilizer juga memberikan kontribusi terhadap peningkatan berat polong. Aktivitas mikroorganisme membantu meningkatkan ketersediaan unsur hara melalui proses fiksasi nitrogen, pelarutan fosfat, dan dekomposisi bahan organik sehingga tanaman memperoleh nutrisi secara lebih efisien. Sinergi antara pelepasan unsur hara secara bertahap dan aktivitas mikroorganisme menciptakan kondisi perakaran yang lebih baik sehingga mendukung pembentukan polong secara optimal.

Frekuensi aplikasi pupuk juga menjadi faktor penting dalam menentukan berat polong. Aplikasi setiap satu minggu sekali mampu menjaga ketersediaan unsur hara selama fase reproduktif yang merupakan periode dengan kebutuhan nutrisi relatif tinggi. Sebaliknya, interval aplikasi yang lebih panjang menyebabkan ketersediaan unsur hara menjadi kurang stabil sehingga proses pengisian polong tidak berlangsung secara maksimal. Madzokere et al., (2021) menyatakan bahwa pemberian pupuk dengan interval yang sesuai mampu meningkatkan efisiensi fotosintesis dan akumulasi bahan kering pada tanaman, yang pada akhirnya meningkatkan hasil panen.

Menariknya, peningkatan konsentrasi pupuk hingga 9 mL L⁻¹ maupun 12 mL L⁻¹ tidak selalu menghasilkan berat polong yang lebih tinggi dibandingkan konsentrasi 6 mL L⁻¹. Hal ini menunjukkan bahwa efektivitas bionanofertilizer lebih dipengaruhi oleh keseimbangan antara dosis dan frekuensi aplikasi daripada besarnya dosis semata. Apabila unsur hara tersedia melebihi kebutuhan

tanaman, efisiensi pemanfaatannya cenderung menurun sehingga peningkatan hasil tidak berlangsung secara proporsional. Temuan ini menunjukkan bahwa pemberian pupuk secara tepat lebih penting dibandingkan pemberian pupuk dalam jumlah yang lebih besar.

Hasil penelitian ini memperlihatkan pola yang konsisten dengan parameter pertumbuhan sebelumnya, yaitu kombinasi B1S1 selalu memberikan respons terbaik terhadap tinggi tanaman, diameter batang, jumlah polong, maupun berat polong. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa pertumbuhan vegetatif yang optimal selama fase awal berkontribusi terhadap peningkatan kemampuan tanaman menghasilkan fotosintat yang selanjutnya dialokasikan ke organ reproduktif. Dengan demikian, peningkatan berat polong pada perlakuan B1S1 merupakan konsekuensi dari pertumbuhan vegetatif yang lebih baik serta efisiensi pemanfaatan unsur hara yang lebih tinggi selama proses pembentukan hasil.

Komponen Hasil Tanaman Kedelai

Keberhasilan pembentukan biji merupakan indikator utama produktivitas tanaman kedelai karena mencerminkan efektivitas proses pembungaan, pembentukan polong, hingga pengisian biji selama fase generatif. Selain jumlah biji, bobot biji dan bobot 100 biji juga digunakan sebagai parameter untuk menilai kualitas hasil panen. Rata-rata jumlah biji, bobot biji, dan bobot 100 biji pada setiap kombinasi konsentrasi dan frekuensi aplikasi bionanofertilizer disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Rata-rata Hasil Tanaman Kedelai pada Konsentrasi dan Frekuensi Aplikasi Bionanofertilizer

Kombinasi Perlakuan	Jumlah Biji	Bobot Biji (g)	Bobot 100 Biji (g)
B1S1	572,33 d	81,50 d	25,00 d
B1S2	278,33 ab	57,67 ab	17,67 ab
B1S3	416,00 c	72,67 cd	22,00 cd
B2S1	401,33 bc	65,33 bc	19,00 bc
B2S2	378,50 abc	62,50 abc	18,67 bc
B2S3	356,83 abc	61,33 abc	21,00 bc
B3S1	402,00 bc	67,33 bc	20,00 bc
B3S2	373,00 abc	60,67 abc	19,00 bc
B3S3	265,00 a	50,17 a	14,67 a

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji DMRT pada taraf 5%.

Berdasarkan hasil pada Tabel 5, kombinasi perlakuan B1S1 (konsentrasi bionanofertilizer 6 mL L⁻¹ dengan frekuensi aplikasi satu minggu sekali) menghasilkan jumlah biji, bobot biji, dan bobot 100 biji tertinggi dibandingkan kombinasi perlakuan lainnya, sedangkan perlakuan B3S3 (12 mL L⁻¹ dengan frekuensi aplikasi tiga minggu sekali) menunjukkan nilai terendah pada ketiga parameter tersebut. Hasil ini mengindikasikan bahwa kombinasi konsentrasi dan frekuensi aplikasi yang tepat mampu mendukung pembentukan serta pengisian biji secara lebih optimal. Jumlah biji yang tinggi mencerminkan keberhasilan tanaman dalam membentuk bunga, mempertahankan polong, dan mendukung perkembangan biji hingga fase generatif. Ketersediaan nitrogen berperan dalam pembentukan protein dan pertumbuhan jaringan, sedangkan fosfor mendukung proses transfer energi yang dibutuhkan selama pembelahan sel

dan perkembangan embrio biji sehingga pembentukan hasil berlangsung lebih baik.

Tingginya jumlah biji pada perlakuan B1S1 diduga berkaitan dengan kemampuan bionanofertilizer menyediakan unsur hara secara bertahap sehingga kebutuhan nutrisi tanaman tetap terpenuhi selama fase reproduktif. Ketersediaan unsur hara yang stabil meningkatkan efisiensi penyerapan nutrisi, memperlancar aktivitas fotosintesis, serta mendukung pembentukan dan perkembangan polong hingga proses pengisian biji. Sebaliknya, peningkatan konsentrasi pupuk tanpa diimbangi frekuensi aplikasi yang sesuai belum mampu meningkatkan produktivitas tanaman secara maksimal. Hasil ini sejalan dengan penelitian (Sari, 2022) yang menyatakan bahwa pupuk berbasis nano dapat meningkatkan efisiensi serapan unsur hara, aktivitas metabolisme, dan produktivitas tanaman melalui penyediaan nutrisi yang lebih efektif.

Selain meningkatkan jumlah biji, kombinasi perlakuan B1S1 juga menghasilkan bobot biji dan bobot 100 biji yang lebih tinggi. Kedua parameter tersebut menggambarkan keberhasilan proses pengisian biji (seed filling), yaitu fase ketika hasil fotosintesis ditranslokasikan menuju biji untuk membentuk cadangan makanan. Efisiensi fotosintesis dan distribusi fotosintat yang baik memungkinkan akumulasi karbohidrat, protein, dan lemak berlangsung lebih optimal sehingga menghasilkan biji yang lebih bernas. Kondisi tersebut didukung oleh karakteristik bionanofertilizer yang melepaskan unsur hara secara terkendali

(controlled release), sehingga nutrisi tetap tersedia selama fase pengisian biji. Temuan ini sejalan dengan (Hidayati 2024) yang menjelaskan bahwa pupuk nano mampu meningkatkan efisiensi pemanfaatan unsur hara selama pembentukan hasil, serta didukung oleh (Endrawati, T., & Sekar Sarjani 2024) yang melaporkan bahwa pupuk nano dapat meningkatkan distribusi asimilat menuju organ generatif sehingga hasil panen menjadi lebih tinggi.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi konsentrasi 6 mL L⁻¹ dengan frekuensi aplikasi satu minggu sekali merupakan perlakuan paling efektif dalam meningkatkan komponen hasil tanaman kedelai. Ketersediaan unsur hara yang berkesinambungan mendukung pembentukan biji, meningkatkan proses pengisian biji, serta menghasilkan bobot biji dan bobot 100 biji yang lebih tinggi. Selain unsur hara makro, unsur mikro seperti seng (Zn) berperan sebagai aktivator enzim dalam sintesis protein, sedangkan kalium membantu translokasi hasil fotosintesis menuju biji sehingga akumulasi bahan kering meningkat. Hasil penelitian ini sejalan dengan Wibowo et al. (2025) yang menyatakan bahwa pupuk berbasis nano mampu meningkatkan ukuran dan bobot biji melalui peningkatan efisiensi fotosintesis dan penyerapan unsur hara, serta didukung oleh Saputra et al. (2021) yang melaporkan bahwa pupuk nano mampu memperbaiki proses pengisian biji sehingga menghasilkan biji yang lebih besar, seragam, dan berkualitas tinggi.

KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa kombinasi konsentrasi dan frekuensi aplikasi pupuk bionanofertilizer berperan penting dalam meningkatkan pertumbuhan dan hasil tanaman kedelai (*Glycine max* L.) varietas Detap-1. Aplikasi bionanofertilizer dengan konsentrasi 6 mL L⁻¹ yang diberikan setiap satu minggu sekali memberikan respons paling optimal terhadap pertumbuhan vegetatif, yang ditunjukkan melalui peningkatan tinggi tanaman dan diameter batang, serta meningkatkan komponen hasil meliputi jumlah polong, berat polong, jumlah biji, bobot biji, dan bobot 100 biji. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa efektivitas penggunaan bionanofertilizer tidak hanya ditentukan oleh konsentrasi pupuk yang diberikan, tetapi juga oleh ketepatan frekuensi aplikasinya sehingga ketersediaan unsur hara dapat dipertahankan sesuai dengan kebutuhan tanaman pada setiap fase pertumbuhan. Dengan demikian, kombinasi konsentrasi 6 mL L⁻¹ dan frekuensi aplikasi satu minggu sekali berpotensi menjadi alternatif strategi pemupukan yang lebih efisien untuk mendukung peningkatan produktivitas tanaman kedelai. Meskipun demikian, penelitian ini masih dilakukan pada skala budidaya dalam polibag sehingga diperlukan penelitian lanjutan pada kondisi lapang untuk menguji konsistensi efektivitas aplikasi bionanofertilizer pada berbagai kondisi agroekosistem.

DAFTAR PUSTAKA

- Dutta, Debashis, and Anurag Bera. 2021. "Nano Fertilizer on Sustainable Agriculture- A Review." *International Journal of Environment and Climate Change* 11 (8): 1–5. <https://doi.org/10.9734/ijecc/2021/v11i830451>.
- Endrawati, T., & Sekar Sarjani, A. 2024. "KOMBINASI KONSENTRASI PUPUK MAJEMUK BERTEKNOLOGI NANO DAN TRICHODERMA SP. TERHADAP PENINGKATAN PERTUMBUHAN DAN HASIL TANAMAN PAKCOY (*Bassica Rapa* L.). VIABEL: Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Pertanian, 18(2), 115–122. <https://doi.org/10.35457/Viabel.V18i2.4041>."
- Febrianny, Princessa Nandita, Annisa Azzahra, Syarifah Salsabila, Niken Agustin, Aqilla Kalyca Tamalia, Ajeng Distya Anjani, Junairiah, and Fatimah. 2025. "Evaluation of Biofertilizer on Growth and Productivity of *Solanum Lycopersicum* L." *Jurnal ILMU DASAR* 26 (2): 107–17. <https://doi.org/10.19184/jid.v26i2.53696>.
- Firmansyah, Fasal, and Titiek Islami. 2023. "Pengaruh Konsentrasi Dan Frekuensi Aplikasi Pupuk Organik Cair (POC) Terhadap Pertumbuhan Dan Hasil Tanaman Kedelai (*Glycine Max* L.) Varietas Anjasmoro." *Produksi Tanaman* 011:887–97. <https://doi.org/10.21776/ub.protan.2023.011.12.02>.
- Hidayati. 2024. "Efektivitas Pupuk Nano Terhadap Nutrisi Tanaman Gandum. Paradigma: Jurnal Filsafat, Sains, Teknologi, Dan Sosial Budaya, 30(5), 29–38."
- Kiik, Karlus, Andreas Kefi, and Aloysius Rusae. 2021. "Pengaruh Bahan Mikroorganisme Lokal (MOL) Dan Frekuensi

- Pemberiannya Terhadap Pertumbuhan Dan Hasil Tanaman Kedelai.' Buletin Agrohorti 11:266-76.
<https://doi.org/10.29244/Agrob.V11i2.47162>."
- Madzokere, T C, L T Murombo, and H Chiririwa. 2021. "Nano-Based Slow Releasing Fertilizers for Enhanced Agricultural Productivity." *Materials Today: Proceedings* 45:3709-15.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.674>.
- Mandal, Debashis, and Lalrinchhani. 2021. "Nanofertilizer and Its Application in Horticulture." *Journal of Applied Horticulture* 23 (1): 70-77.
<https://doi.org/10.37855/jah.2021.v23i01.14>.
- Nawadkar, Anuja, Jyotsna Chaskar, Abhishekh Tiwari, and Atul Chaskar. 2024. "Controlled Release of Nanofertilizers: A Promising Approach for Efficient Delivery of Nutrients in Plants." *Journal of Crop Improvement* 38 (3): 189-218.
<https://doi.org/10.1080/15427528.2024.2336259>.
- Nazirah, Laila, and Adelya Puspita. 2026. "Respon Pertumbuhan Dan Hasil Beberapa Varietas Kedelai (Glycine Max L . Merr) Terhadap Pemberian Pupuk Hayati Rhizobium The Growth and Yield Response of Several Soybean Varieties." *Jurnal Ilmiah Mahasiswa AGROKOMPLEK* 5 (2): 438-43.
- Pratiwi, Syal sabilla, Candra Dewi, and Nur Hayati. 2024. "Pengaruh Pemberian Pestisida Nabati Terhadap Intensitas Serangan Hama Penting Pada Tiga Varietas Tanaman Kedelai (Glycine Max (L.) Merrill)." *Jurnal Agroplasma* 09 (1): 101-10.
- Sari, R. M., Maharani, A. I., Wulan, H., Kanaya, O. N., & Violita. 2022. "Respon Perkecambahan Kedelai (Glycine Max L.) Terhadap Kondisi Cekaman Kekeringan Dengan Menggunakan PEG (Polyethylene Glycol) 8000. Prosiding Seminar Nasional Biologi, 1(2), 423-432.
<https://Semnas.Biologi.Fmipa.Unp.ac.id/Index.php/Prosiding/Article/View>."
- Sjamsijah, Nurul, and Ayilia Pristiawati. 2024. "Aplikasi Pupuk Kandang Dan Hormon Giberelin Terhadap Produksi Benih Kedelai (Glycine Max (L .) Merrill) Varietas Dena 1 Application of Manure and Gibberellin Hormone Treatment on Production of Soybean Seeds (Glycine Max (L .) Merrill) Dena 1 Variety." *AGROPROSS National Conference Proceedings of Agriculture*, 646-54.
- Tiara Cinta, Septi, Widiwurjani Widiwurjani, and Nora Augustien K. 2023. "Respon Pupuk N, P, K Dan Pupuk Organik Cair Pada Pertumbuhan Dan Hasil Tanaman Kedelai (Glycine Max (L.) Merrill)." *Jurnal Agrium* 20 (1 SE-Articles): 42-50.
<https://doi.org/10.29103/agrium.v20i1.10663>.
- Wahyudi, Anung, Muhamad Syukur, Nazirwan Nazirwan, Subandi Subandi, Akbar Hidayatullah Zaini, Yohanes Hendrianto, Wahid Rifan Gustoro, et al. 2022. "Performa Karakter Agronomi Dan Produktivitas Tujuh Varietas Kacang Tunggak Generasi Kedua." *Jurnal Penelitian Pertanian Terapan* 22 (2): 169-76.
<https://doi.org/10.25181/jppt.v22i2.2205>.

- Wibowo, Agung Setya, Army Dita Serdani, Tri Endrawati, and Palupi Puspitorini. 2025. "EFEKTIFITAS BIOMATRICONDITIONING BENIH DENGAN BAKTERI INDIGENOUS DAN BIONANOFERTILIZER UNTUK MENINGKATKAN PERTUMBUHAN DAN HASIL TANAMAN KEDELAI (Glycine Max (L.) Merr.)." *VIABEL: Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Pertanian* 20 (2): 65–78.
- Yusuf, Muhamad, Muhammad Rafli, Muhammad Yusuf Nurdin, Nelly Fridayanti. 2024. . ". 'Pengaruh Konsentrasi Pupuk Organik Cair Terhadap Pertumbuhan Dan Hasil Dua Varietas Kedelai (Glycine Max (L.) Merr.).' Jurnal Ilmiah Mahasiswa Agroekoteknologi 3 (1): 1–5."
- Zafar, Sadia, Maria Bilal, Muhammad Fraz Ali, Athar Mahmood, Jureerat Kijssomporn, Ling Shing Wong, Harshini M, Vikas Kumar, and Saqer S. Alotaibi. 2024. "Nano-Biofertilizer an Eco-Friendly and Sustainable Approach for the Improvement of Crops under Abiotic Stresses." *Environmental and Sustainability Indicators* 24 (April): 100470. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2024.100470>.